

Stručni članak - Professional paper
UDK 624.21/.8 : 658.588.8 (Mostar)



Ponovna izgradnja Starog mosta

Dr. sc. Blaž Gotovac

Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split

Sažetak

Stari most u Mostaru izgrađen je 1566. godine, a srušen je 9. studenog 1993. pod, još uvijek, nedovoljno razjašnjenim okolnostima. Pripreme za ponovnu izgradnju trajale su više godina, da bi se krajem 2002. godine pristupilo obnovi. Završetak gradnje mosta i ostalih građevina lokaliteta završen je u prvoj polovici 2004. godine. Svečanim otvaranjem 23. lipnja 2004. Stari most je ponovno otvoren za uporabu. Izgrađen je od potpuno istih vrsta gradiva kao i izvorni most. I, način obrade i ugradbe pojedinih komponenata, koliko je to bilo moguće postići, odgovara izvornom stanju. Neke manje razlike koje, s obzirom na velik vremenski razmak, neminovno postoje, posebno će biti istaknute i analizirane u ovom članku. Važno je napomenuti da se ovdje prvi put iznose neki važni podatci i činjenice koje su prije obnove bile nedostupne i s kojima se u prošlosti iz različitih razloga spekuliralo.

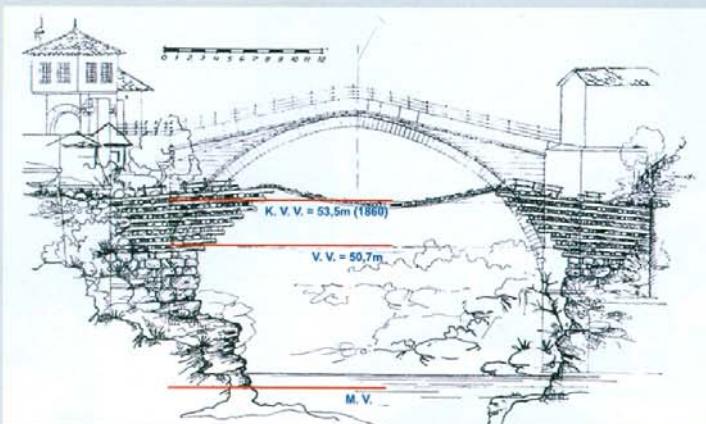
Uvod

Prema izvorima iz Zemaljskog muzeja u Sarajevu gradnja Starog mosta započinje 1557. i traje devet godina. Gradnja je završena 1566. godine u čemu se slazu različiti izvori [3, 4], dok o trajanju i načinu gradnje nema tako

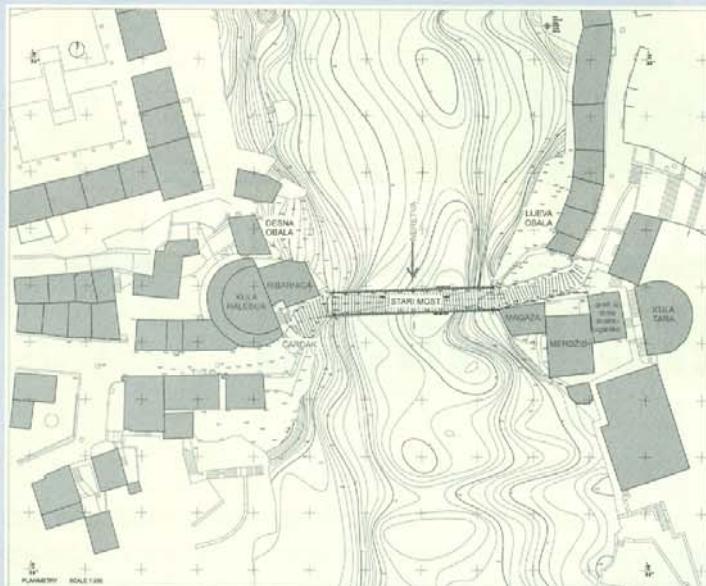
pouzdanih dokumenata. Potreba za izgradnjom tvrdoga kamenog prijelaza uslijedila je nakon dotrajalosti tada postojećega drvenog mosta [8].

Gradnja je povjerena Hajrudi-nu (Hayruddin), koji je poznat kao učenik otomanskog graditelja Ko-

dže Mimara Sinana (graditelj »Na Drini čuprije«). Međutim, malo je poznato da je Mimar Sinan zapravo neka vrsta institucije iza koje se kriju ukupno četiri velika graditelja [4]. Sama gradnja je shvaćena veoma ozbiljno, s obzirom na to da je lokacija zadana, ali bez prakti-



Slika 1: Simulacija usporedbi drvenog i Starog mosta s karakterističnim vodostajima Neretve



Slika 2. Lokalitet Starog mosta

čne mogućnosti izgradnje stupa u Neretvi. Dakle, Neretu je trebalo premostiti jednim lukom / svodom raspona oko 30,0 metara (slike 1. i 2.). Danas nizvodno postoji suvremeno rješenje s jednim rasponom od 90,0 m (Most H. Brkića, projektant prof. M. Muravljov).

Nadzor nad gradnjom Starog mosta bio je povjeren Hadži-Mehmedu Karadozbegu, bratu Rustem-paše Hrvata koji je bio odgovoran za gradnju mosta na Žepi (I. Andrić, »Most na Žepi«). Usporedno s izgradnjom Starog mosta, građila se poznata Karadozbegova džamija, najljepša u Mostaru i jedina u Bosni i Hercegovini u čijoj gradnji je izravno sudjelovao Haj-

rudin. Karadozbeg i njegov brat Rustem-paša Hrvat u to su vrijeme bili ugledne visokodruštveno rangirane osobe i nije slučajno da je baš jedan od njih bio imenovan nadzornikom za izgradnju mosta kako bi mogao koordinirati lokalne obrtnike za obradu drva, kamena, željeza, olova, kadrme i sl. Postoje dokumentirani tragovi o sudjelovanju lokalnih tesara, klesara s otoka Korčule, Imotskog, te Vareša za obradu metala kao i mjesnog stanovništva koje je dnevnicama na izgradnji plaćalo porez.

Na mostu su tijekom dugog vremena korištenja obavljeni i različiti popravci, prvo na obalnim zidovima (posebno lijeva obala), a kasnije i

na samoj konstrukciji mosta (posebno nakon Drugoga svjetskog rata [9], [10]).

Prilikom rušenja rasponske konstrukcije mosta 1993. godine, na lijevoj obali, iako neuporabljiv zbog oštećenja, preostao je dio konstrukcije po cijeloj visini obalnog zida – upornjaka (slika 3.), uključujući dio kadrme i kamene ogradi. Na desnoj obali srušen je veći dio konstrukcije nego na lijevoj, ali preostali dio je manje oštećen (slika 4.). Konačno je na desnoj obali sačuvan temeljni vijenac i prvih pet redova, odnosno redovi 106. – 111.

Detaljnijim pregledom i analizom stanja nakon rušenja mosta, nije jasan mehanizam potpunog rušenja konstrukcije uz desnu obalu, dok je granatiranjem bila potpuno oštećena konstrukcija mosta uz lijevu obalu Neretve.

Pregledom kamenih blokova (ostataka) izvadenih iz Neretve nakon rušenja prethodno pitanje postaje još zanimljivije.

Na slici 1. prikazan je širi lokalitet Starog mosta. Vidljiva je homogenost lokaliteta i prirodna ukomponiranost rasponskog dijela mosta u lokalitet. Također postoji povijesna slojevitost lokaliteta. Uz kon-



Slika 3. Stanje nakon rušenja – lijeva obala



Slika 4. Stanje nakon rušenja – desna obala

zultaciju međunarodnih stručnjaka odlučeno je izgraditi repliku Starog mosta, a istodobno je obnova lokaliteta podijeljena na dva posebna projekta: projekt izgradnje rapsponskog dijela mosta i popravak obalnih zidova, te projekt obnove kula i ostalih objekata iza upornjaka mosta koji su integralni dio uporjačkih sklopova.

Na slici 5. vidljivo je stanje upornjaka mosta nakon izvršenih arheoloških istražnih radova (iskopano je oko 1200.0 m³ pijeska i šljunka). Dakle, ponovna izgradnja Starog mosta započinje s prikazanim »rupsama« iza upornjaka i s oštećenim obalnim zidovima. Glavnim projektom nije bio definiran stvarni statički sustav konstrukcije mosta. Također nije bila analizirana stvarna uloga skele, kako u procesu izgradnje mosta, tako i u trenutku njenog otpuštanja. Stoga je izbor skele bio prvi, ali vrlo delikatan zadatak i za izvođača i za nadzor.

U sljedećim tablicama navedeni su osnovni podaci o geometriji mosta, količinama potrebnih materijala, te koordinate znakovitih točaka za definiranje globalnoga i lokalnoga koordinatnog sustava. U lokalnom koordinatnom sustavu praćena je izgradnja luka, a u globalnom svih ostalih dijelova mosta.

Tablica 1. Podaci o geometriji

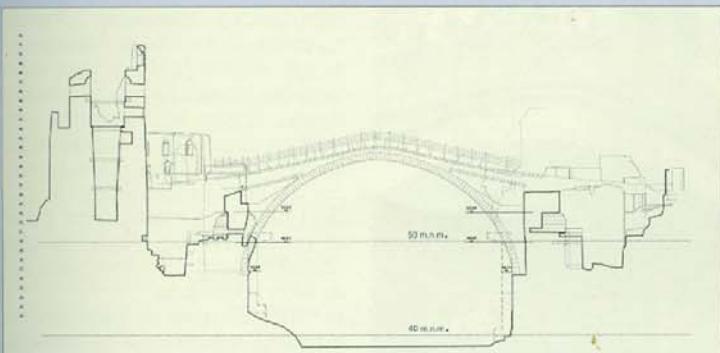
	j. m.	vrijednost
sjeverni (uzvodni) raspon	cm	2871
južni (nizvodni) raspon	cm	2862
maksimalna strelica luka sa sjeverne strane – mjereno s razine istočne pete luka	cm	1206
maksimalna strelica luka s južne strane – mjereno s razine istočne pete luka	cm	1205
prosječna visina iznad rječnog nivoa (ovisno o sezonom i rječnim vodama)	cm	1600–1800
spuštanje istočnog temeljnog vijenca u odnosu na zapadni (sa sjeverne strane)	cm	13
spuštanje istočnog temeljnog vijenca u odnosu na zapadni (s južne strane)	cm	12
duljina krivulje intradosa – sjeverna strana	cm	4058
duljina krivulje intradosa – južna strana	cm	4036
duljina krivulje ekstradosa – sjeverna strana	cm	3607
duljina krivulje ekstradosa – južna strana	cm	3638
širina nosivog luka	cm	395
debljina bočnih trokutastih zidova	cm	60–85
širina donjih vijenaca	cm	60–70
širina gornjih vijenaca	cm	80–90
debljina parapeta (kamena ograda – korkaluk)	cm	20–26
prosječna visina parapeta (mjereno s vanjske strane)	cm	90–92
uspon pješačke staze mosta	%	18–19
ukupna visinska razlika pješačke staze mosta (krajevi – sredina raspona)	cm	270

Tablica 2. Podaci o količinama

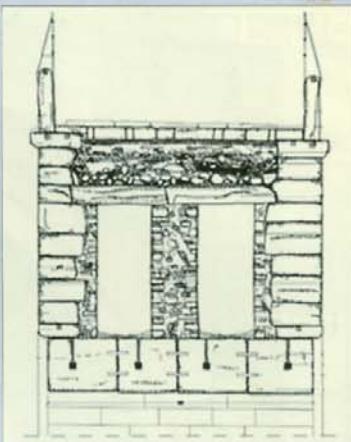
	j.m.	količina
broj redova nosivog luka	kom	111
broj kamenih blokova u jednom redu luka (prosjek je negdje 3 – 4)	kom	2-5
prosječne dimenzije kamenog bloka luka (volumen = 0.32 m ³ ; masa oko 640 kg)	cm	40×80×100
najveća duljina kamenog bloka luka	cm	258
najveći kameni blok luka prije završnoga klesanja (masa oko 2500 kg)	m ³	1.25
broj glavnih kamenih elemenata cijelog mosta (kaldrma nije uključena)	kom	1006
broj kamenih elemenata cijelog mosta (kaldrma nije uključena)	kom	1088
broj kamenih blokova u nosivom luku	kom	456
broj kamenih blokova u bočnim trokutastim zidovima	kom	425
broj kamenih blokova gornjeg vijenca	kom	157
broj kamenih blokova parapeta (uključujući mali element s jugoistočne strane)	kom	50
broj metalnih skoba za vodoravne veze kamenih blokova luka	kom	666
broj metalnih skoba na ekstradosu luka	kom	550
broj metalnih skoba za donje vijence	kom	91
broj metalnih skoba za bočne trokutaste zidove	kom	197
broj metalnih skoba za gornje vijence	kom	124
broj metalnih skoba za međusobnu vezu blokova kamene ograde	kom	46
ukupan broj metalnih skoba za cijeli most	kom	1674
broj metalnih klinova ugrađenih u luk	kom	717
broj metalnih klinova u parapetu	kom	93
ukupan broj metalnih klinova na mostu	kom	810
obujam nosivog luka	m ³	145
obujam nosivog luka plus odstupanja u kamenolomu	m ³	191
potreban obujam kamena za klesanje za nosivi luk	m ³	202
potreban obujam kamena za bočne trokutaste zidove	m ³	102
potreban obujam kamena za vijence	m ³	33
potreban obujam kamena za ogradu – korkaluk	m ³	19
potreban obujam kamena za cijeli most (kaldrma nije uključena)	m ³	356

Tablica 3. Podaci o koordinatnim sustavima

	j. m.	X	Y	Z
sjeveroistočni temeljni vijenac (razina nadmorske visine – odnosi se na lokalno ishodište koordinatnog sustava)	m	23.02	41.02	46.71
sjeverozapadni temeljni vijenac (razina nadmorske visine – odnosi se na lokalno ishodište koordinatnog sustava)	m	50.69	33.35	46.84
jugoistočni temeljni vijenac (razina nadmorske visine – odnosi se na lokalno ishodište koordinatnog sustava)	m	24.12	44.81	46.72
jugozapadni temeljni vijenac (razina nadmorske visine – odnosi se na lokalno ishodište koordinatnog sustava)	m	51.70	37.17	46.84
sjeveroistočni temeljni vijenac (odnosi se na relativno ishodište koordinatnog sustava)	m	0.00	0.00	0.00
sjeverozapadni temeljni vijenac (odnosi se na relativno ishodište koordinatnog sustava)	m	28.71	0.00	0.13
jugoistočni temeljni vijenac (odnosi se na relativno ishodište koordinatnog sustava)	m	0.04	3.95	0.01
jugozapadni temeljni vijenac (odnosi se na relativno ishodište koordinatnog sustava)	m	28.66	3.95	0.13



Slika 5. Uzdužna dispozicija, neposredno prije početka ponovne izgradnje Starog mosta



Slika 7. Poprečni presjek kroz štedne otvore



Slika 6. Glavna teška skela i pomoćna skela s portalnim krovom

Izbor skele

Pitanje izbora skele ujedno je izbor koncepcije gradnje. Postoje različite legende o problemima sa skelom što ih je imao Hajrudin, a u što smo se i sami uvjerili prilikom rasklapanja preostalih oštećenih dijelova luka. Postoje znatno veći i stariji kameni lučni mostovi od Starih mostova, ali Stari most ipak zauzima posebno istaknuto mjesto. Posebnost Starih mostova je prije svega u koncepciji konstrukcije građevine iz koje je proizašlo oblikovno savršenstvo, te potrebna nosivost i stabilnost uz minimum ugrađenoga gradiva.

Hajrudin je postavio poseban statički sustav, a kamenu konstrukciju mosta je izveo potpuno armiranu. U konstrukciju je ugradeno oko deset tona željeznih spojnih sredstava (skobe i klinovi) i više od trideset tona olova za njihovo zalijevanje. S obzirom na to, da je projekt obnove okruženja mosta kasnio, trebalo je odabrati skelu, koja uz vlastitu teži-

nu može prenijeti i cijelokupnu težinu mosta, a da pri otpuštanju skele progib mosta u tjemenu bude reda veličine jednog milimetra.

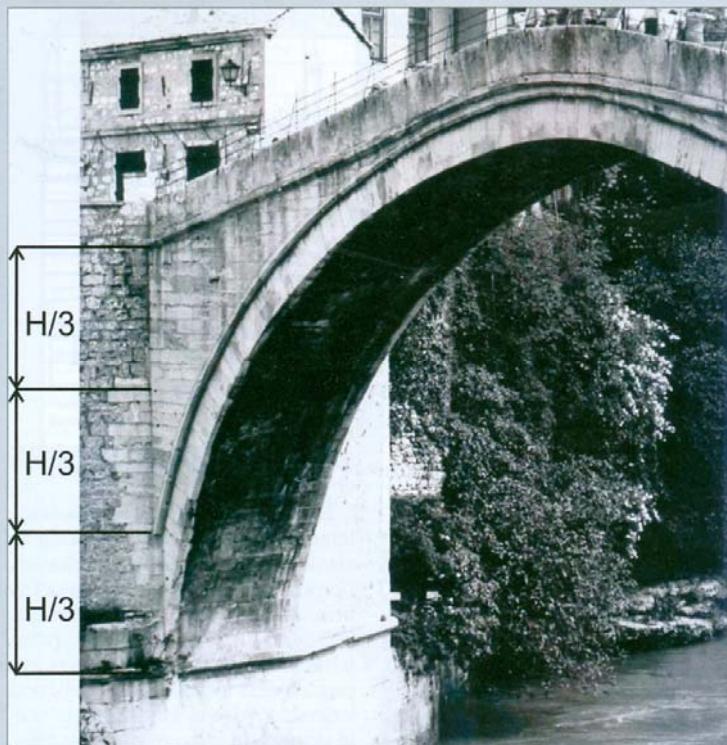
Ponuđeno je više varijanata skele temeljene na elementima skela za visokogradnju koje zadovoljavaju potrebnu nosivost, ali im krutost ni približno ne uđeđuje zahtjevima.

Odabrana je takva skela (slika 6.) koja koncepcijски ispunjava sve postavljene uvjete. Masa čeličnog i drvenog dijela konstrukcije skele iznosila je blizu osamdeset tona, čija se težina prenosi preko osam rešetkastih nosača visine tri metra na privremene armiranobetonske stupove. Nakon završenoga sklapanja skele izvršeno je prednapijanje krajeva rešetkastih nosača u armiranobetonske stupove čime su rešetke iz statičkog sustava slobodno poduprte grede pretvorene u obostrano upete rešetke.

Osim toga, ispod luka drvenih remenata bila su ugrađena doda-



Slika 8. Stražnja strana centralnog dijela upornjaka



Slika 9. Veza mosta i obalnog nosivog sklopa

tna tri lučna nosača izvedena od čeličnih cijevi promjera 108 i debeline stijenke 5 milimetara, čime je dodatno povećana geometrijska nepromjenjivost skele do potrebnih krutosti. Zbog ograničenog prostora na gradilištu, posebnu ulogu su odigrali pontoni na rijeci ispod mosta, te okvirna dizalica s pomoću koje su precizno ugrađeni svi kamni blokovi.

Nakon zatvaranja kamenog luka izvršena je njegova dodatna monolitizacija zalijevanjem olovom željeznih spojnih sredstava nakon čega je luk postao nosivi element, koji u prijenosu daljnog opterećenja sudjeluje srazmjerne svojoj krutosti u odnosu na krutost čelične skele. U srednjoj ploti luka ugrađeni su željezni klinovi, a na ploti ekstradosa skobice u pet nizova: uz rubove, po sredini i u četvrtinama širine luka.

Otpuštanje skele, između ostalog, bilo je praćeno s pomoću dva precizna nivojira s kojima se registrirala promjena koordinate Z na uzvodnoj i nizvodnoj strani tjemena luka. Nakon otpuštanja skele izmjereni je spuštanje tjemena za svega nekoliko desetinki milimetra, dakle manje od prognozirane vrijednosti od jednog milimetra. Time je pokazana idealna izbalansiranost ra-

sporeda mase i krutosti uzduž luka mosta za što je, bez sumnje, zaslужan graditelj Hajrudin. Izmjerena vrijednost pomaka tjemena također potvrđuje da su suvremeni graditelji u najvećoj mjeri dešifrirali Hajrudinova razmišljanja iz vremena prve izgradnje mosta.

Statički sustav konstrukcije mosta

Kroz povijest mnogi su konstruktori statičkim proračunima »zaključili« da Stari most nije dovoljno stabilan. Međutim, postojanje mosta duže od četiri stoljeća takve rezultante opovrgava. Prigodom jednog popravka otkriveni su štedni otvor u obalne zidove i tada je izgledalo da je upravo zahvaljujući tim otvorima most bio još uvijek stabilan i u funkciji (slika 7.).

Pažljivo prateći rasklapanje svakoga kamenog bloka od kamene ogradi, kaldrame, podloge, gornjeg vjenca, štednih otvora, donjeg vjenca, luka mosta do prvog reda na lijevoj obali uključujući i temeljni vjenac, provodeći usporedno numeričke analize i dugotrajno promišljajući stavove graditelja Hajrudina, iznosim sljedeće spoznaje:

• Drveni most koji je prethodio Starom mostu prema M. Gojkoviću

[8] (slika 1.) nalazio se od njega nizvodno 15.0 – 20.0 m. Na slikama 5. i 8. vidljivo je da je Stari most izgrađen upravo na mjestu drvenog mosta. Pritom su iskoršteni svi dijelovi upornjaka, a izgrađeni su samo obalni obložni zidovi i uzvodni jaki vodoodbojni zidovi. Za gradnju pete luke korištene su donje tri grede drvenog mosta (na obje obale) (slike 5. i 8.) koje sežu sve do ekstradosa luka.

• Uloga štednih otvora je usputna u funkciji smanjivanja opterećenja mosta, a prvenstveno je u funkciji smanjivanja krutosti na spoju mosta s obalnim zidovima – upornjacima. Glavni projekt [6] također se zasniva na tezi da štedni otvor postaje isključivo radi smanjenja opterećenja nosivog luka, što objašnjava činjenicu da do kraja glavnog projekta nije određen stvarni statički sustav konstrukcije mosta i nije projektirana skela za izgradnju mosta. Na slici 9. prikazana je uzvodna strana na lijevoj obali (slično je na desnoj obali i na nizvodnoj strani). Gornja trećina kontakta mosta i obalnog zida je zona štednih otvora. Bočni zidovi mosta su »uvučeni« u obalnu strukturu i mogu napraviti relativni pomak bez vidljivih tragova.

Uz vanjske zidove mosta i između štednih otvora na koje se oslanjaju poklopne ploče ozidani su zidovi mnogo manje krutosti od vanjskih »trokutastih« zidova (slika 7.). Bočni zidovi ukrćuju luk mosta, ali se mogu relativno pomicati u odnosu na obalni zid. Srednja trećina visine H od početka donjeg vjenca do početka štednih čini dio pete luka, koji je velikim kamenim blokovima monolitno povezan s obalnom nosivom strukturom, slika 9. U toj visini od i po cijeloj širini luka mosta, uključujući ojačanje ispod štednih otvora (umjetno podebljivanje luka) (slika 10.), luk je elastično upet u obalni nosivi sklop.



Slika 10. Konstruktivno podebljivanje pete luke ispod štednih otvora

Ovdje je Hajrudin napravio jedan originalan zahvat. Naime, u blokovima koji su zajednički bočnom zidu mosta i kosom obalnom zidu izdubio je spojnicu dubine oko sedam centimetara čime je vizualno razdvojio veoma važne monolitne kamene blokove i doveo u zabludu generacije graditelja tijekom više od četiri stoljeća. Donja trećina spoja luka s kosim obalnim zidom od početka donjem vijenca do temeljnog vijenca »dilatirana« je sljubnicom ispunjenom vapnenim mortom, tako da je omogućen relativni pomak između luka i kosog obalnog zida. Potpun uvid u statički sustav dobio sam tek rasklapanjem donjih četiriju redova luka.

Naime, prva četiri reda kamenih blokova nisu međusobno povezana čeličnim klinovima i skobama, što jasno pokazuje da donji dio luka ima ulogu »pendla-njihala« stup koji omogućava horizontalni pomak pete luka u smjeru uzdužne osi mosta.

- Statički sustav mosta je obostrano upet luk (elastično upet) izrazito promjenjive krutosti.

- Zalijevanje skoba olovom kvalitetno je izvedeno u izvornoj izvedbi građevine, što se ne bi moglo reći za klinove koji se nalaze u srednjoj plohi luka. Uloga klinova je onemogućavanje međusobnoga klizanja dvaju redova luka. Dakle, klinovi preuzimaju dio poprečne sile i time izravno imaju utjecaj na krutost konstrukcije. Međutim, približno jedna trećina do jedna polovina kli-



Slika 11. a) Označavanje reda luka za klesanje, b) Isklesani red luka s ugradenim željeznim klinovima, c) isklesani element vijenca, d) Obradjeni element praga kamene kaldrme

nova na izvornoj građevini nije bila uopće zalivena olovom. Kako se to moglo dogoditi?

Oovo se tali na temperaturi 350 °C i do temperature 450 °C ne pokazuje nikakve promjene boje ili drugih obilježja. U vrijeme gradnje Starog mosta bilo je poznato da su olovne pare vrlo otrovne, a kako tadašnji majstori nisu imali toplomjera za oovo bilo je logično da su počinjali zalijevati klinove neposredno nakon rastapanja olova (oko 360 °C). Žlijeb do kline u kamenu bio je dužine 40 – 50 cm što je dovodilo do preranog hlađenja olova i stvaranja čepa u žlijebu te time do prekida zalijevanja kline.

- Slabo zalijevanje olovom željeznih klinova izvornog mosta, a još više problemi s drvenom skeletom, doveli su do neujednačenih dimenzija sljubnica što je imalo za posljedicu neposredni dodir kamenih blokova dvaju susjednih redova luka te njihovo pucanje.



Slika 12. Montaža teškog kamenog bloka ograde (korkaluka)

- U pojedinim razdobljima most nije pravilno održavan. Prilikom različitih intervencija (ugradba vodovodne lijevanjo-željezne cijevi, popravci ograde i kaldrme), oštećena je izvorna hidroizolacija i omogućeno je prodiranje vode u konstrukciju, a time i degradaciju vapnenog morta i smanjivanje sigurnosti građevine.

Zidanje mosta

Za zidanje mosta korištena su građiva sukladna onima u izgradnji Starog mosta. Kamen poznat pod imenom tenelija uzet je iz kamenoloma Mukoša. Radi se o sedimentnoj, vapnenačkoj stijeni, relativno male gustoće, oko 2 t/m^3 i velike poroznosti koja iznosi do 23%, te faktorom upijanja oko 8%. Ipak, taj je kamen iznimno otporan na smrzavanje.

Pri zidanju ispune između luka, bočnih trokutastih zidova i obalnoga nosivog sklopa, korištena je tvrda vrsta vapnenca u obliku lomljennoga kamena, a za izradbu kamene kaldrme na mostu i pristupima na most korištena je najtvrdja vrsta vapnenca pod lokalnim nazivom »krečnjak«.

Klesanje kamena

Za sve pozicije mosta prije klesanja pripremljeni su ispitani blokovi kamena bruto dimenzija. Do konačnih dimenzija došlo se ručnom obradom. Međutim, u mostu ne postoje dva kamenih bloka međusobno jednakih dimenzija, a kako je zadatko ponavljanje izvorne geometrije sa svim nepravilnostima, klesanju je posvećena posebna pozornost.

Na slici 11.a) prikazan je način obilježavanja cijelog jednog reda za klesanje, jer bi odvojeno klesanje pojedinog bloka bilo gotovo neizvedivo sa zadanom visokom točnošću od svega jednog milimetra.

b) Radi obilježavanja, za svaki red luka iscrtana je šablon u mjerilu 1:1 na prozirnoj foliji. Kameni blokovi jednog reda s oklesanim plohamama na sljubnicama, razmaknuti medusobno 6,0 mm (širina reške), prvo se označavaju s uzvodne strane reda (crvena boja) s lica folije, nanosi se horizontalna ravnina na sve četiri vertikalne plohe reda i zatim označava nizvodna strana reda s poledine folije. Nakon spajanja prenesenih točaka s folije na kamenе blokove, pristupa se klesanju i ugradbi željeznih klinova na naližećoj plohi.

Na slici 11.b) prikazan je šezdeset drugi red spremen za prijevoz na gradilište mosta. Na slici 11.c) prikazan je isklesani element vijenca, a na slici 11.d) element praga kadrme od tvrdog vapnenca, neusporedivo težeg za obradbu nego što je tenelijsa.

Prijevoz i ugradba

Zbog vrlo ograničene površine na gradilištu, kameni blokovi su dopremani u skladu s dinamikom građenja. Najmanje dvadeset sati prije ugradbe kameni blokovi su potapani u vodu kako ne bi nakon ugradbe ubrzavali sušenje morta u reškama. Ugradba svakoga kamenog bloka izvedena je s milimetarskom preciznošću zahvaljujući neprekidnoj geodetskoj provjeri.

Navedena točnost je bila potrebna kako bi se izbjegla sustavna pogreška i da se omogući ugradba sljedećih redova luka bez dodatne intervencije u smislu dorade na mjestu. Pri izvornoj izgradnji su po četiri reda bila klesana po osjećaju, a svaki peti red je služio i za korekciju ukupnih odstupanja.

Na slici 12. registriran je trenutak polaganja teškog bloka kamene ograde (korkaluka) na pripremljeni sloj morta i ugrađene željezne klinove u gornji vijenac mosta.

Iz bazena s vodom blokovi se do platforme na mostu prenose toranjskom dizalicom, a zatim ih prihvaća okvirna dizalica, dovozi do mjesta ugradbe i vrlo precizno i mirno spušta u konačni položaj. Iznad svakoga željeznoga klinova na kamenom bloku ograde vidljive su rupe, koje služe za ulijevanje olova. Rupe se nalaze ispod razine kadrme i konačno nisu vidljive. U izvornom rješenju klinovi su bili ranije ugrađeni u element ograde, a zalijava se rupa u vijencu.

Na slici 13. vidljiv je detalj spoja ostatka nakon rušenja postojećega bočnog zida i novoizgrađenog dijela mosta. Na fotografiji se može uočiti da je u trenutku snimanja gradnja bila u tijeku. Nakon što je izvršeno zidanje i fugiranje, pristupilo se pažljivom pjeskarenju svih vidljivih površina kako bi se umanjio kontrast između starog i novog dijela i vizualno neutralizirala oština na svježih tragova klesanja.

Mortovi

Za zidanje vitalnih dijelova konstrukcije mosta korišten je vapneni mort sastavljen od gašenog vapna, pjeska krupnoće 0-2 mm iz Neretve (Čapljina), te mljevene opeke takoder frakcije 0-2 mm. Mort je spravljan na gradilištu od navedenih komponenata u volumenskom omjeru 1:1:1 uz dodatak potrebne količine vode. Mljevena opeka je dodana zbog pucolanske aktivnosti sitnih čestica te bolje ugradljivosti.

Na slici 10. vidljiv je presjek dijela izvornog luka i vrlo kvalitetno izvedene ispune iza luka do štendnih otvora. Ispuna se sastoje od lomljenoga čvrstog vapnenca i specijalnog morta uz koji su vezane i različite legende. Naime, radi se o staroj tehničkoj zidanja trodimenzionalnoga nosivog elementa, koju mi, nažalost, nismo bili u mogućnosti ponoviti. Ta stara tehnika podrazumijevala je ujednačeno slaganje lomljenoga kamena, komada živog vapna te crljenice, pjeska i šljunka većih frakcija, dok se na samom mjestu dodavala potrebna količina vode koja je ujedno služila i za gašenje živog vapna.



Slika 13.
»Uklapanje«
novoga
kamenog
zida u ostatak
izvornog
objekta

Blok prikazan na slici 10. predstavlja trećinu bloka ukupne mase od 42,0 tone, koji je s desne obale pao u Neretvu, nakon nekoliko godina izvaden te deset godina nakon rušenja raspiljen radi lakšeg prijevoza, ima još uvijek potpuno monolitnu vezu s kamenim blokovima po ekstradosu luka.

U suvremenoj izvedbi spomenuti blok je izведен od lomljenog vapnenca slaganog u vapneni mort, te nakon potpunog završetka gradevine (skela još u funkciji) izvršeno je naponsko kontaktno injektiranje (vidi točku 5.).

Za polaganje kamene kadrme na mostu i prilazima od kapije na ljevoj do kapije na desnoj obali korištena je mješavina crljenice, pjeska i hidratiziranog vapna. S gašenim vapnom pokušaj nije uspio zbog poškoća u spravljanju smjese.

Korištena su tri tipa tog morta: podloga u debelom sloju od 1,5 metar (ručno nabijeno u slojevima debljine oko petnaest centimetara), tanki sloj za neposredno polaganje pločastih elemenata kadrme i tzv. pragova, te konačno treći tip koji je posebni mort za fugiranje sljubnica kamene kadrme.

Tako izvedena podloga i kadrma imaju istodobno i funkciju hidroizolacije Starog mosta.

Nabijanje morta u reškama tijekom zidanja luka

Korištenje spojnih sredstava (željezne skobe i klinovi) podrazumijeva da je proces konsolidacije morta u nosivim reškama luka završen, kako bi se mogla izvršiti faza zalijevanja olovom. Poznato je da je vap-



Slika 14. Nabijanje morta u sljubnicama uz kameni blok zaglavnog reda

no zračno vezivo kod kojega proces vezivanja i očvršćavanja traje mnogo duže nego kod hidrauličnih veziva (najmanje trostruko duže).

Zato se posebno vodilo računa o tome da se za svaki ugrađeni blok izvrši nabijanje morta neposredno nakon postavljanja kamenog bloka u njegov konačni položaj. Nabijanjem tehnikom prikazanom na slici 14. postiže se da mort potpuno ispuni obujam sljubnice između dvaju redova luka. Pri tome se mora zadovoljiti vrlo važan uvjet da širina reške bude 6.0 milimetara.

Taj postupak je prikidan sve do tle dok plohe sljubnica između redova luka prema vodoravnoj ravnini zatvaraju kut manji od 60 stupnjeva. Nakon što se premaši ta vrijednost kuta, učinak ručnog nabijanja postaje sve manji. Posebno se to odnosi na desetak redova lijevo i isto toliko desno od tjemena luka. U tu svrhu, kada su za ugradbu preostala samo tri tjemena reda, izvršeno je nabijanje morta korištenjem hidrauličkih tjesaka (preša) prema slici 15.

Aktiviranjem sile u prešama od 400 kN došlo je do međusobnog razmicanja pritisnutih redova za 11.0 milimetara. Prateći tlak u prešama i zadržavajući ga konstantnim u sljedeća tri dana izvršeno je zaliđevanje olovom klinova u srednjoj plohi luka i pet redova skoba na plohi ekstradosa.

Na takav način dobivena su dva zakrivljena monolitna nosiva ele-

menta. Otpuštanjem preša došlo je do relativnog približavanja za 5.0 mm, što znači da je mort u reškama između redova od tjemena prema petama luka tim postupkom zbijen za 6.0 milimetara. Najveće zbijanje se dogodilo u reškama najbliže tjemu, što je i bio cilj, jer je u toj zoni učinak ručnog nabijanja bio najmanji.

Spojna sredstva i postupak zaliđevanja olovom

Na ostacima Starog mosta vidljivi su klinovi i skobe izrađeni kovanjem željeza. Na njima nema nikakvih tragova propadanja zbog korozije.

Radionica čiji kovači vladaju izvornim kovačkim umijećima i koja bi jamčila takvu kvalitetu i mogla proizvesti potrebnu količinu u zadanom kratkom roku danas praktično ne postoji.

Zbog toga je iskorišten današnji tehnološki stupanj razvoja u odnosu na izvorne graditelje i namjenški je proizveden čelik s različitim dodacima između kojih posebnu ulogu ima bakar. Dobiveni čelik ima stanovite sličnosti s kortenom. To je čelik koji primarno oksidira i upravo je na taj način, dobivenom »patinom«, zaštićen od daljnje korozije [12].

Na slici 16.a) shematski su prikazana spojna sredstva: željezni klinovi i skobe, te princip ugradbe jednog reda luka. Postavljaju se prvo vanjski blokovi, a zatim unutarnji, jedan po jedan.

Postupak pripreme, zaliđevanje i eventualne obrade olova prikazan je na slici 16. b) – f). Prvo se rupa mora očistiti, a zatim osušiti do potrebnog stupnja vlažnosti [15]. U peći za taljenje olova pripremi se nešto manje od dvije litre tekućeg olova temperature oko 400 °C. Pri toj temperaturi još uvijek nema otrovnih olovnih para, a omogućeno je da se korištenjem preciznog termometra (slika 16.d) počne zaliđevati (slika 16.e).

Skobe se zaliđevaju olovom pri temperaturi oko 360 °C jer je put do rupe vrlo kratak pa ne može doći do stvarnjavanja olova. S druge strane, pri višoj temperaturi povećava se skupljanje olova i dolazi do razmicanja između kamena i olova.



Slika 15. Nabijanje morta u sljubnicama između redova lijevo i desno u odnosu na tri tjemena reda luka

Pri zalijevanju klinova potrebna je viša temperatura olova nego za skobe i kreće se oko 375°C jer olovno prelazi put od pola metra kroz kanal u kamenu do srednje plohe luka, odnosno do željeznoga klina. Tim postupkom su svi klinovi i skobe kvalitetno zaliveni olovom za razliku od izvorne izgradnje. Posebno su bili zahtijevani izrada i učvršćivanje kovane željezne ograde, za što su posebno zaslužni stručnjaci instituta »Kemal Kapetanović« [12] i gospodin Šeparović [15].

Injekcijski radovi

Svi obalni zidovi, temeljni blokovi mosta te ispuna između luka, štednih otvora i temeljnog bloka injektirani su u svrhu popravka, postignuća vodonepropusnosti ili homogenizacije volumena uz stanovit prednapon [1].

Za most i konačnu stvarnu statičku shemu posebno je zanimljivo kontaktno naponsko injektiranje.

S obzirom na to da u postojećim uvjetima nije bilo moguće izvesti ispunu iza luka na originalan način, bili smo prisiljeni ispunu izvesti prema trenutačnim mogućnostima. Svjesni uloge ispune kao vitalnog dijela nosive konstrukcije Starog mosta, razradili smo postupak kontaktnoga naponskog injektiranja.

Shematski prikaz instalacija i samog postupka vidljiv je na slici 17. Postupak prednapinjanja korištenjem naknadnog injektiranja prepakta poznat je iz popravaka hidroenergetskih građevina (dovodni tunel HE Rama i dr.).

U konkretnom slučaju korišteni su tlakovi injektiranja i do 11.5 bara kako bi se postigao učinak prednapinjanja. S obzirom na to da je skele u to vrijeme bila još uвijek u funkciji, prednapinjanjem je djelomično preuzeta horizontalna komponenta reakcije obalnoga nosivog sklopa na rasponsku konstrukciju mosta. Opravdanost tog postupka potvrđena je utroškom injekcijske smjese (oko 6.0 m^3) i malim pomakom tijelena luka nakon otpuštanja skele.

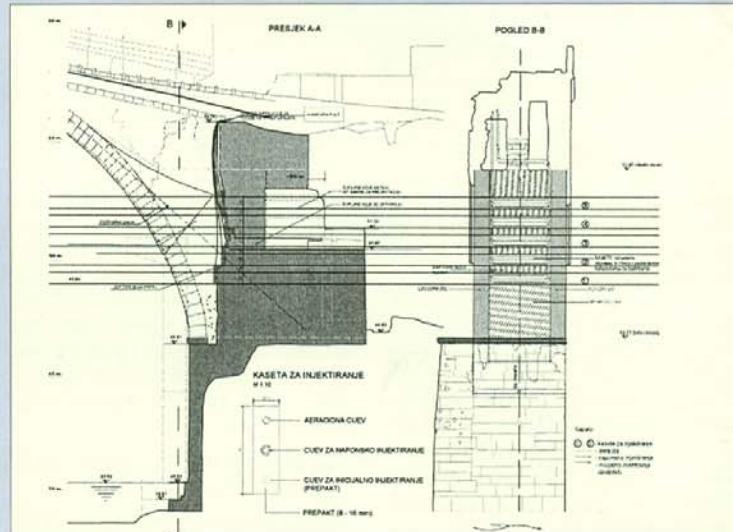
Konačna staticka shema

Nakon ponovne izgradnje Starog mosta i susjednih zgrada, ipak su se dogodile neke važne promjene u odnosu na stanje prije rušenja mosta.

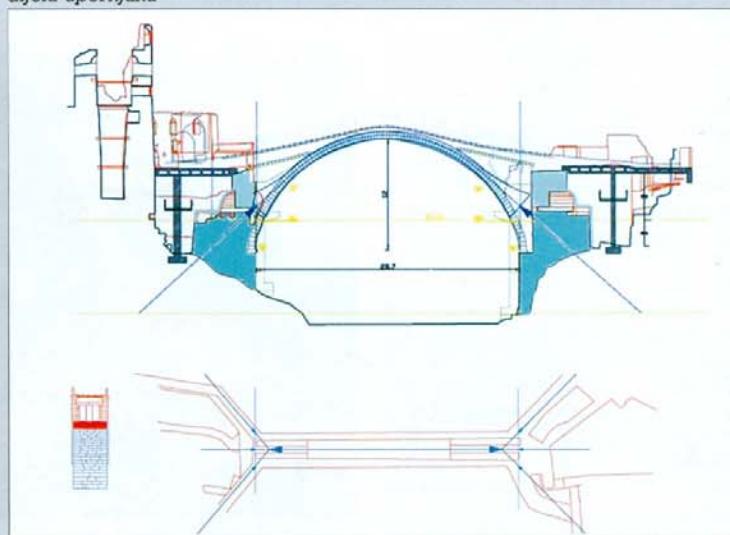
Statičkom analizom utjecaja nasipa koji je arheološkim iskopava-



Slika 16. a) Spojna sredstva i shema montaže, b) Sušenje rupe prije ulijevanja olova, c) Peć za taljenje olova, d) Termometar za olov, e) Zalijevanje olovom spoja klanfi i kamena, f) Dio estradosa luka i donjih vijenaca s ugrađenim klanfama



Slika 17. Injekcija zida ispune između luka, štednih otvora i središnjeg dijela upornjaka



Slika 18. Konstrukcija Starog mosta nakon ponovne izgradnje

njem bio uklonjen, na stabilnost mosta i obalnih nosivih sklopova, utvrđeno je da je njegova uloga bila nepovoljna. To treba istaknuti jer je postojala opcija ponovnog vraćanja nasipa. Međutim, nasip ima više negativnih učinaka od kojih se navodi samo jedan.

Za visokog vodostaja Neretve nasip je potpuno zasićen vodom. Realna je mogućnost naglog srušavanja vodostaja u relativno kratkom vremenu. Nasip zasićen vodom sporo se ocjeđuje i čini vrlo velik tlak na temeljni sklop prema rijeci. Ukupna horizontalna reakcija mosta dobivena vrlo realnom numeričkom simulacijom ostaje ista po veličini, ali promijeni predznak.

Potvrda tom rezultatu su vertikalne pukotine na obalnim zidovima uzvodno i nizvodno, te gotovo simetrično na obje obale. Pukotina na uzvodnom zidu (desna obala) bila je otvorena oko 5.0 cm, dok je na lijevoj obali zbroj nekoliko manjih pukotina iznosio približno isto toliko. Umjesto ponovnog vraćanja nasipa, izgradene su armiranobetonske olakšane ploče debljine 80.0 cm (20+40+20), oslonjene na zidove i na po jedan središnji okrugli stup.

Na taj način dobiveni su muzejski prostori za izlaganje zaštićenih pokretnih arheoloških nalaza lokaliteta.

Spomenute ploče su i kvalitetna podloga za izradbu zidanih zgrada (magaze na lijevoj i ribarnice na desnoj obali), te kamene kadrme za pristup mostu s obje strane. Osim toga, armiranobetonske ploče imaju i vrlo važnu ulogu u povezivanju slobodnostojećih kamenih zidova (neki su visoki preko 10 metara), i to na najpovoljnijoj visini u slučaju djelovanja seizmičkog opterećenja ili hidrodinamičkih sila za visokog vodostaja Neretve. ■

Na slici 18. shematski je prikazano konačno stanje konstrukcije Starog mosta uključujući i šire obalne zone.

Zaključak

Prikazane su bitne značajke i postupci koji su primijenjeni pri ponovnoj izgradnji Starog mosta u Mostaru i njegova bližeg okruženja. Zadatak je bio da se u svemu (koliko je to realno moguće) ponovi izvorno izgrađen most. Prvo je pitanje bilo o kojem se izvornom mostu radi. Mosta od prije 450 godina niko se ne sjeća, a nema ni vjerodstojnih dokumenata. Onoga od prije 15 godina mnogi se sjećaju, ali to sigurno nije onakav Stari most kakav je bio izvorno izgrađen.

Za geometriju mosta u ponovnoj izgradnji, korišten je ručno izrađen snimak mosta iz 1955. godine i fotogrametrijski snimak iz 1982. godine. Zadatak graditeljima bio je napraviti repliku mosta prema geometriji s tih snimaka. Gradiva i njihova ugradba pri ponovnoj izgradnji gotovo u potpunosti odgovaraju izvornom načinu.

U svakoj stavci radova neminovalno postoje stanovite razlike od kojih neke idu u prilog prvih graditelja, a većina, svakako, ide u prilog suvremenih. U naše vrijeme izradba skele ne predstavlja tehnički problem. Također, sve vrste prijevoza danas ne predstavljaju veće potешkoće. Međutim, u pogledu nekih starih zanata, prvi graditelji su bili u prednosti.

Ponovno izgrađen Stari most, što se moglo i očekivati, ima veću sigurnost u pogledu stabilnosti i nosivosti nego izvorni iz 1566. godine. Očekujući da će nadolazeće generacije biti pažljivije od prethodnih, Stari most će sigurno spajati lijevu i desnu obalu rijeke Neretve u Mostaru u sljedećim stoljećima te prenositi poruku svojih graditelja. ■

Literatura

- [1] AS – Built Design. Grouting Works, »SPEGRA« – Split, Mostar, 2003.
- [2] Crnković, B., Šarić, L.J., Građenje prirodnim kamenom, IGH–Zagreb, Zagreb, 2003.
- [3] Čelebi, E., Putopis (odломci), »Sarajevo–Publishing«, 1996.
- [4] Čelić, Dž., Mujezinović, M., Stari mostovi u Bosni i Hercegovini, »Sarajevo–Publishing«, 1998.
- [5] Fugen, Ilter, Osmanililara kadar (Anadol u turk kopruleri – Stari kamenni mostovi u Turskoj), Ankara, 1978.
- [6] General Engineering, Dijelovi glavnog projekta ponovne izgradnje Stari mosta, Firenca , 2002.
- [7] Gojković, M., Kamene konstrukcije, ICS – Beograd, Beograd, 1976.
- [8] Gojković, M., Stari kamenni mostovi, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [9] Gojković, M., Sanacija Starog mosta u Mostaru (rukopis), 1963.
- [10] Krsmanović, D., Dolarović, H., Langof, Z., Sanacija Starog mosta u Mostaru, Separat iz godišnjaka »Naše starine« XI 1967., Sarajevo, 1967.
- [11] LGA, Monitoring System, Nürnberg, 2003.
- [12] Metalurški institut »Kemal Kapetanović« Zenica, Analiza metalnih dijelova za »Stari most« u Mostaru (izvještaji), Zenica, 2003.
- [13] Pande, G., Middleton, I., Computer Method in Structural Masonry 1–2–3, University of Wales-Swansea, Wales U.K., 1995.
- [14] Serdarević, I., Bibliografija radova o Starom mostu u Mostaru, Mostar, 2003.
- [15] Šeparović, V., Tehnika zalijevanja olovom željeznih spojnih sredstava (demonstracija, instrukcija, realizacija), Mostar, 2003–2004.
- [16] »ŽGP« – Sarajevo, MAIN DESIGN OF SCAFFOLD, Odgovorni projektant: Avdo Tuce, dipl. ing, građ., Sarajevo, October, 2002.

Summary

Reconstruction of the Old Bridge

The Old Bridge in Mostar was built in 1566 and destroyed on November 9th 1993, in which are still unknown circumstances. The preparation for reconstruction have lasted for several years before it finally started late in 2002. The completion of the bridge reconstruction together with the rest of the complying structures was in the first half of the 2004. With the grand opening on June 23rd 2004, the Old Bridge is once again open for public. It is reconstructed with completely the same materials as the original bridge.

Further more, the level in which some elements were treated and installed is followed as accurately as possible with the elements of the original bridge. Some minor differences which are, considering the great time shift, present will be specially stressed out and analyzed in this paper. It must be mentioned that some important information and facts, unknown and much discussed in the past before the reconstruction, will now be given here for the first time.